



**Method for determining an internal combustion engine parameter, comprises expression of two input quantities in polar coordinates, application of correcting factors and use of characteristic field**

Patent Number:  FR2814251  
Publication date: 2002-03-22  
Inventor(s): ELLMER DIETMAR  
Applicant(s): SIEMENS AG (DE)  
Requested Patent:  DE10046322  
Application Number: FR20010011793 20010912  
Priority Number(s): DE20001046322 20000919  
IPC Classification: G05B19/02  
EC Classification: F02D41/00D4  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

A parameter such as compressor speed is found by expressing two input quantities, volumetric flow (VF) and pressure ratio (PQ) as polar coordinates (25). A first correction (26) is applied to the radii using a deviation function (Ofs) which depends on the angle and a second correction (27) is then applied using a factor (K) which also depends on the angle. Interpolation in the rearranged field (28) gives an accurate value for the compressor speed

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 100 46 322 A 1**

51 Int. Cl. 7:  
**G 05 B 13/04**  
G 05 B 17/00  
F 04 D 27/02  
F 02 B 37/12

21 Aktenzeichen: 100 46 322.3  
22 Anmeldetag: 19. 9. 2000  
43 Offenlegungstag: 11. 4. 2002

DE 100 46 322 A 1

71 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

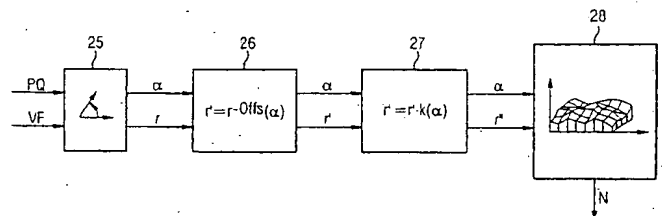
72 Erfinder:  
Ellmer, Dietmar, 64285 Darmstadt, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Ermitteln einer Kenngröße

57 Bei einem Verfahren zum Ermitteln einer Kenngröße einer Vorrichtung werden zwei Eingangsgrößen einer Polarkoordinatentransformation unterworfen. Die Kenngröße wird aus einem Kennfeld in Abhängigkeit von den transformierten Eingangsgrößen ermittelt.



DE 100 46 322 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln einer Kenngröße einer Vorrichtung. Derartige Kenngrößen werden benötigt zum präzisen Steuern oder Regeln von Stellantrieben oder auch zur Überwachung von Vorrichtungen.

[0002] Die exakten physikalischen und mathematischen Zusammenhänge zwischen den Eingangsgrößen und der Kenngröße der Vorrichtung sind häufig stark nichtlinear und der exakte funktionale Zusammenhang nicht oder nur mit ungenügender Genauigkeit bekannt. Es ist diesbezüglich bekannt, Kennfelder durch stationäre Messungen der zusammengehörigen Eingangsgrößen und der jeweiligen Kenngröße für eine vorgegebene Anzahl an Betriebspunkten zu ermitteln und die Ergebnisse in einem Kennfeld abzulegen. Im Betrieb der Vorrichtung wird dann abhängig von den Eingangsgrößen und ggf. durch Kennfeld-Interpolation die jeweilige Kennfeldgröße ermittelt. Eine Nachbildung der physikalischen oder mathematischen Zusammenhänge mit derartigen Kennfeldern, die direkt abhängen von ermittelten Betriebsgrößen der Vorrichtung – beispielsweise ein Druckverhältnis und ein Volumenstrom bei einem Verdichter-Kennfeld eines Abgasturboladers einer Brennkraftmaschine – weist häufig Nachteile auf.

[0003] So liegt ein großer Teil der Rasterpunkte auch Stützstellen genannt – des Kennfeldes häufig in einem Bereich, in dem aufgrund der physikalischen Gegebenheiten kein realer Betriebspunkt liegt. Somit wird in der Steuereinrichtung Speicherplatz belegt, der beim Betrieb der Vorrichtung ungenutzt ist. Gleichzeitig entsteht bei zunehmender Stützstellenzahl ein erhöhter Zugriffslaufzeitbedarf, da ein Kennfeldzugriff generell mit einer Stützstellensuche einhergeht.

[0004] Bei einer stark ungleich verteilten Informationsdichte der Kenngröße in der Eingangsebene entstehen bei Verwendung dieser Form der Nachbildung bei gleichzeitiger für Echtzeitanwendungen vertretbarer Stützstellenzahlen für Steuerungs- und Regelungsaufgaben nicht akzeptable Nachbildungsgenauigkeiten.

[0005] Aus den Veranstaltungsunterlagen eines Vortrags mit dem Titel "Weiterentwicklung der Prozessrechnung für aufgeladene Ottomotoren" von Julia Miersch, Claus Reulein und Christian Schwarz, der anlässlich einer Veranstaltung "Aufladung von Verbrennungsmotoren" des Haus der Technik e. V. am 31.03.2000 gehalten wurde, ist es bekannt zur Ermittlung der Drehzahl eines Verdichters zuerst eine Koordinatentransformation durchzuführen, bei der ein Massenstromwert mittels einer Geradengleichung abhängig von einem Verdichter-Druckverhältnis transformiert wird und anschließend die Kenngröße aus einem Kennfeld ermittelt wird, dessen Eingangsgrößen das Verdichter-Druckverhältnis und der transformierte Massenstrom sind. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Nachbildungsgenauigkeit bei diesem Kennfeld für Echtzeitanwendungen nicht die erforderliche Güte aufweist und dass eine lineare Interpolation zwischen den Stützstellen des Kennfeldes ebenfalls nicht die für genaue Steuerungen notwendige präzise Abbildung der Realität aufweist.

[0006] Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Ermitteln einer Kenngröße einer Vorrichtung zu schaffen, das sowohl eine gute Nachbildungsgenauigkeit der physikalischen Realität hat als auch einen geringen Speicherbedarf für ein Kennfeld hat.

[0007] Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs.

[0008] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

[0009] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass bei vielen technisch relevanten Kennfeldern der physikalisch relevante Bereich konzentriert ist auf einen engen Bereich um die im Betrieb besonders häufig angefahrenen Betriebspunkte oder besonders kritischen Betriebspunkte in einem eng eingegrenzten Bereich liegen und der Verlauf der Linien gleicher Werte der Kenngröße projiziert auf die Eingangsebene häufig teilkreisförmig ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass durch eine einfache Polarkoordinaten-Transformation der Eingangsgrößen die Stützstellen in dem Kennfeld in der Polarkoordinatenebene so gewählt werden können, dass einerseits wenige Stützstellen außerhalb des physikalisch relevanten Bereichs liegen und andererseits im Bereich besonders häufig auftretender oder kritischer Betriebspunkte eine besonders feine Rasterung möglich ist.

[0010] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind anhand der schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0011] Fig. 1 eine Brennkraftmaschine mit einer Steuereinrichtung,

[0012] Fig. 2 ein Kennfeld eines Verdichters der Brennkraftmaschine mit den Eingangsgrößen Volumenstrom VF und Druckverhältnis PQ an einem Verdichter,

[0013] Fig. 3 ein Blockschaltbild zur Ermittlung der Drehzahl N des Verdichters,

[0014] Fig. 4 das Kennfeld gemäß Fig. 2 mit einer darin eingetragenen Polarkoordinaten-Transformation.

[0015] Elemente gleicher Konstruktion und Funktion sind figurenübergreifend mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

[0016] Eine Brennkraftmaschine (Fig. 1) hat einen Ansaugtrakt mit einem Verdichter 1, einem ersten Sammler 2, einer Drosselklappe 3, einem zweiten Sammler 4 und einem Saugrohr 5. In dem Saugrohr 5 ist ein Einspritzventil 6 angeordnet. Die Brennkraftmaschine umfasst mehrere Zylinder, von denen der Zylinder 7 in der Fig. 1 dargestellt ist. Am Zylinder 7 ist eine Zündkerze 8 angeordnet. Ein Auslasskanal 9 ist vorgesehen, der hin zu einem Abgastrakt führt, in dem eine Turbine 10 angeordnet ist. Ferner ist ein Bypass 11 zu der Turbine 10 vorgesehen, in dem eine Wastegate-Klappe 12 angeordnet ist.

[0017] Bevorzugt sind die Turbine 10 und der Verdichter 1 mechanisch gekoppelt und bilden somit einen Abgasturbolader. Ferner ist ein Drehzahlsensor 20 vorgesehen, der den Istwert  $N_{AV}$  der Drehzahl des Verdichters erfasst.

[0018] Eine Steuereinrichtung 15 ist vorgesehen, die abhängig von erfassten Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine, wie beispielsweise einer Drehzahl der Kurbelwelle, einem Luftmassenstrom in den Zylinder 7 oder der Temperatur der Ansaugluft Stellsignale für die Stellgeräte der Brennkraftmaschine ermittelt. Ein Stellgerät hat einen Stellantrieb und ein Stellglied. Die Stellgeräte sind beispielsweise das Einspritzventil 6, die Zündkerze 8, die Drosselklappe 3 oder auch die Wastegate-Klappe 12. In Fig. 1 ist nur der für die Erfindung relevante Teil der Steuereinrichtung 15 dargestellt.

[0019] Die Steuereinrichtung umfasst einen Block 16, in dem verschiedenen Betriebsgrößen ermittelt werden, die auch eine den Fahrerwunsch oder die Motormomentenanforderung repräsentierende Betriebsgröße, ein Druckverhältnis PQ und einen Volumenstrom VF durch den Verdichter 1 umfassen. Das Druckverhältnis PQ ist das Verhältnis des Drucks stromaufwärts und stromabwärts des Verdichters 1. Der Volumenstrom VF wird ermittelt bezogen auf eine vorgegebene Temperatur der Luft, die durch den Verdichter 1 strömt, und einen vorgegebenen Druck, wobei dazu die aktuelle Temperatur und der aktuelle Druck entsprechend berücksichtigt wird. Alternativ zu dem Volumenstrom kann

auch ein Massenstrom durch den Verdichter 1 ermittelt werden.

[0020] In einem Block 17 wird abhängig von dem Druckverhältnis PQ und den Volumenstrom VF eine Drehzahl ermittelt, hier ein Sollwert  $N_{SP}$  der Drehzahl des Verdichters 1, unter Berücksichtigung der Temperatur der Luft durch den Verdichter 1 und des Umgebungsdrucks. Die genaue Art der Ermittlung der Drehzahl in dem Block 17 wird weiter unten anhand der Fig. 3 und 4 beschrieben.

[0021] Einer Summierstelle 18 wird die Differenz des Sollwertes  $N_{SP}$  und des Istwertes  $N_{AV}$  der Drehzahl des Verdichters gebildet und einem Block 19 zugeführt, der einen Regler umfasst, dessen Ausgangsgröße eine Stellgröße SG\_WG für die Wastegate-Klappe 12 ist.

[0022] Fig. 2 zeigt die Ebene der Eingangsgrößen des Kennfeldes des Verdichters 1, wobei die Eingangsgrößen der Volumenstrom VF und das Druckverhältnis PQ sind. Ferner sind in Fig. 2 Drehzahlkurven  $N_a, N_b, N_c, N_d, N_e, N_f, N_g$  mit konstanter Drehzahl des Verdichters 1 eingetragen. Ferner sind in Form von Höhenlinien die Bereiche gleichen Wirkungsgrades  $\eta$  eingetragen. Der Betriebsbereich des Verdichters 1 wird durch eine Drehzahlgrenze  $N_g$  begrenzt, welche der technisch maximal zulässigen Drehzahl des Verdichters 1 entspricht. Zum anderen hat das Kennfeld des Verdichters 1 eine sogenannte Stopfgrenze  $S_g$ , die das Druckverhältnis PQ des Verdichters 1 nach unten begrenzt. Ferner hat das Kennfeld eine sogenannte Pumpgrenze  $P_g$ , die bei kleinen Volumenströmen VF und hohem Druckverhältnis PQ den Betriebsbereich des Verdichters 1 begrenzt. Alle Werte in Fig. 2 sind bezogen auf einen Referenzdruck  $p_0$  und eine Referenztemperatur  $T_0$ . Die Bereiche des Kennfeldes, die außerhalb des durch die Pumpgrenze  $P_g$ , die Drehzahlgrenze  $N_g$  und die Stopfgrenze  $S_g$  eingeschlossenen Bereichs liegen, sind dabei für den Betrieb des Verdichters nicht relevant und somit überflüssig.

[0023] In einem Block 25 (Fig. 3) erfolgt eine Polarkoordinatentransformation des Druckverhältnisses PQ und des Volumenstroms VF. Es wird ein Winkel  $\alpha$  mittels des Arcustangens ( $\arctan$ ) des Quotienten des Druckverhältnisses PQ und des Volumenstroms VF ermittelt. Der Radius r wird mittels des Satzes des Pythagoras aus dem Druckverhältnis PQ und dem Volumenstrom VF ermittelt. Dabei ist der Ursprung des Polarkoordinatensystems gegeben durch das Ursprungsdruckverhältnis  $PQ_U$  und den Ursprungsvolumenstrom  $VF_U$ . Durch geeignete Wahl des Ursprungsdruckverhältnisses  $PQ_U$  und des Ursprungsvolumenstroms  $VF_U$  kann einerseits eine besonders günstige Speicherplatzausnutzung in dem Kennfeld, mittels dessen die Drehzahl ermittelt wird, erreicht werden und andererseits eine hohe Nachbildungsgenauigkeit erreicht werden, wenn die Radien dem Verlauf der Drehzahlkurven  $N_a$  bis  $N_g$  möglichst genau angepasst sind.

[0024] In einem Block 26 wird ein modifizierter Radius  $r'$  ermittelt durch Subtraktion eines Verschiebungswertes Offs zum Radius r. Der Verschiebungswert Offs ist dabei abhängig von dem Winkel  $\alpha$  vorgegeben. Bevorzugt entspricht der Verschiebungswert in etwa dem Abstand von dem Ursprung des Polarkoordinatensystems zum Schnittpunkt des jeweiligen Radiuses einer in die Polarkoordinatenebene projizierten konstanten Drehzahlkurve, die in Fig. 2 die Drehzahlkurve  $N_a$  ist, aber auch eine andere Drehzahlkurve sein kann. Dadurch wird der Betriebsbereich des Verdichters in zwei Bereiche aufgeteilt – oberhalb und unterhalb der Offsets –, so dass mit Hilfe einer Fallunterscheidung die Bereiche unabhängig von einander mit dem hier beschriebenen oder mit einem bekannten Verfahren nachgebildet werden können. Dies ist gemäß des Verlaufs der nachzubildenden Kenngröße und der Gewichtung der Gütekriterien festzulegen.

[0025] In einem Block 27 wird ein erneut modifizierter

Radius  $r''$  ermittelt durch Multiplikation des modifizierten Radius  $r'$  mit einem Faktor k, der abhängig von dem Winkel  $\alpha$  ermittelt wird. Der Faktor k ermöglicht ein besonders gutes Abbilden der Drehzahlkurven  $N_a$  bis  $N_g$  konstanter Drehzahl durch den erneut modifizierten Radius  $r''$ . Die Wahl der Faktoren erfolgt dabei vorteilhafterweise so, dass einerseits möglichst lediglich der physikalisch relevante Bereich des Kennfeldes abgebildet ist und andererseits der Verlauf der erneut modifizierten Radien  $r''$  möglichst genau übereinstimmt mit dem Verlauf der Drehzahlkurven  $N_a$  bis  $N_g$ . Durch diese Parametrisierung ist bei minimierten Speicherbedarf eine sehr gute und präzise Nachbildungsgenauigkeit durch lineare Interpolation zwischen den Stützstellen des Kennfeldes möglich.

[0026] In einem Block 28 wird anschließend aus dem Kennfeld abhängig von dem Winkel  $\alpha$  und dem erneut modifizierten Radius  $r''$  die Drehzahl N des Verdichters 1 ermittelt. Dabei kann zwischen den einzelnen Stützpunkten des Kennfeldes einfach linear interpoliert werden. Fig. 4 zeigt die Darstellung von Fig. 2 wobei die Rasterlinien des Kennfeldes des Blocks 28 zusätzlich eingezeichnet sind. Dabei ist deutlich ersichtlich, dass die Drehzahlkurven  $N_a$  bis  $N_g$  im Bereich der konstanten Drehzahlkurven von 60 000 Umdrehungen pro Minute bis 140 000 Umdrehungen pro Minute durch die erneut modifizierten Radien  $r''$  sehr gut angenähert sind. Dadurch ist eine sehr gute Nachbildungsgenauigkeit des Kennfeldes im Block 28 gegeben, ohne dass es notwendig ist, eine sehr feine Rasterung der Rasterpunkte vorzunehmen wie es bei bekannten Verfahren für gleiche Nachbildungsgenauigkeit notwendig wäre.

[0027] Die Stützstellen des Kennfeldes, die außerhalb des durch die Pumpgrenze  $P_g$ , die Stopfgrenze  $S_g$  und die Drehzahlgrenze  $N_g$  umrandeten Bereichs liegen, sind dabei vorteilhaft so mit vorgegebenen Werten belegt, dass eine Interpolation in einem vorgegebenen Bereich zwischen den benachbarten Stützstellen des Kennfeldes einen Wert der Kenngröße ergibt, der präzise dem tatsächlichen Wert entspricht. Besonders vorteilhaft ist dies für Stützstellen, die in der Zeichenebene der Fig. 4 rechts oder oberhalb der Drehzahlgrenze liegen, wobei dann die Stützstellenwerte so gewählt sind, dass bei Interpolation im Bereich der Drehzahlgrenze besonders präzise Drehzahlwerte ermittelt werden. Dies erhöht die Sicherheit des Betriebs des Verdichters, da bei einem auch geringfügigen Überschreiten der Drehzahlgrenze schnell die Zerstörung des Verdichters erfolgen kann.

[0028] Alternativ kann der Ablauf, wie er in Fig. 3 beschrieben ist, auch zum Ermitteln der Drehzahl der Turbine 10 aus dem Turbinenkennfeld eingesetzt werden. Entsprechende Eingangsgrößen in den Block 25 wären dann das Druckverhältnis des Drucks stromauf und stromab der Turbine und ein Volumenstrom durch die Turbine.

[0029] Ferner kann der durch die Fig. 3 beschriebene Ablauf auch eingesetzt werden zum Ermitteln des Wirkungsgrads der als Speicherkatalysator ausgebildeten Vorrichtung. Dabei sind dann die ursprünglichen Eingangsgrößen die Temperatur und ein Beladungsgrad des Katalysators mit Stickoxiden (NOX) und durch entsprechende Transformation werden dann die Eingangsgrößen ermittelt für ein entsprechendes Kennfeld, dessen Kenngröße der Wirkungsgrad des Speicherkatalysators ist. Ein derartiger Speicherkatalysator kann stromabwärts der Turbine in dem Abgasstrahl angeordnet sein.

[0030] Alternativ kann der Ablauf gemäß Fig. 3 entsprechend eingesetzt werden zum Ermitteln eines Luftzahl-Wirkungsgrads der Brennkraftmaschine abhängig von einer Luftmasse und einer Differenz einer gemessenen und vorgegebenen Luftzahl. Der Ablauf gemäß Fig. 3 kann auch zum Ermitteln beliebiger anderer Kenngrößen von Vorrichtungen

oder Stellgeräten oder auch zur Nachbildung des Verhaltens von Komponenten (z. B. Katalysatoren) bzw. Teilsystemen eingesetzt werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln einer Kenngröße einer Vorrichtung, wobei zwei Eingangsgrößen einer Polarkoordinatentransformation unterworfen werden und die Kenngröße aus einem Kennfeld in Abhängigkeit von den transformierten Eingangsgrößen ermittelt wird. 10
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Radius( $r$ ) mittels eines Verschiebungswertes (Offs) korrigiert wird, der abhängt von dem Winkel ( $\alpha$ ). 15
3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Radius ( $r$ ,  $r'$ ) multiplikativ korrigiert wird mittels eines Faktors ( $k$ ), der abhängt von dem Winkel ( $\alpha$ ). 20
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Ursprung des Polarkoordinaten-Systems bezüglich des durch die Eingangsgrößen aufgespannten kartesischen Koordinaten-Systems verschoben ist. 25
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stützstellen des Kennfeldes, die außerhalb eines für die jeweilige Anwendung relevanten Bereichs liegen, so mit vorgegebenen Werten belegt sind, dass eine Interpolation in einem vorgegebenen Bereich zwischen den benachbarten Stützstellen des Kennfeldes einen Wert der Kenngröße ergibt, der präzise dem tatsächlichen Wert entspricht. 30
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung ein Stellgerät ist. 35
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Stellgerät ein Verdichter (1) ist und die Kenngröße die Drehzahl ( $N$ ) ist. 40
8. Verfahren nach dem vorstehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Eingangsgrößen ein Volumenstrom (VF) durch den Verdichter (1) und ein Druckverhältnis (PQ) des Drucks stromauf und stromab des Verdichters (1) sind. 45
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Verschiebungswert abhängig von dem jeweiligen Winkel in etwa dem Abstand von dem Ursprung des Polarkoordinaten-System zum Schnittpunkt des jeweiligen Radiuses mit einer in die Polarkoordinaten-Ebene projizierten konstanten Drehzahllinie. 50
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der durch das Kennfeld abgedeckte Winkelbereich den Bereich zwischen der Stopfgrenze ( $S_G$ ) und der Pumpgrenze ( $P_G$ ) umfasst. 55
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der durch das Kennfeld abgedeckte Radiusbereich in etwa bis zur Drehzahlgrenze ( $N_g$ ) des Verdichters (1) reicht.
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Stellgerät eine Turbine (10) ist und die Kenngröße die Drehzahl der Turbine (10) ist. 60
13. Verfahren nach dem vorstehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Eingangsgrößen ein Volumenstrom oder Massenstrom durch die Turbine (10) und ein Druckverhältnis des Drucks stromauf und stromab der Turbine (10) sind. 65

14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung ein Nox-Speicherkatalysator ist, die Eingangsgrößen die Temperatur und der Beladungsgrad mit Nox sind und die Kenngröße der Wirkungsgrad des Speicherkatalysators sind.

15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung eine Brennkraftmaschine ist, die Eingangsgrößen die Differenz einer gemessenen zu einer vorgegebenen Luftzahl und die Luftmasse sind und die Kenngröße ein Luftzahl-Wirkungsgrad ist.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG 1

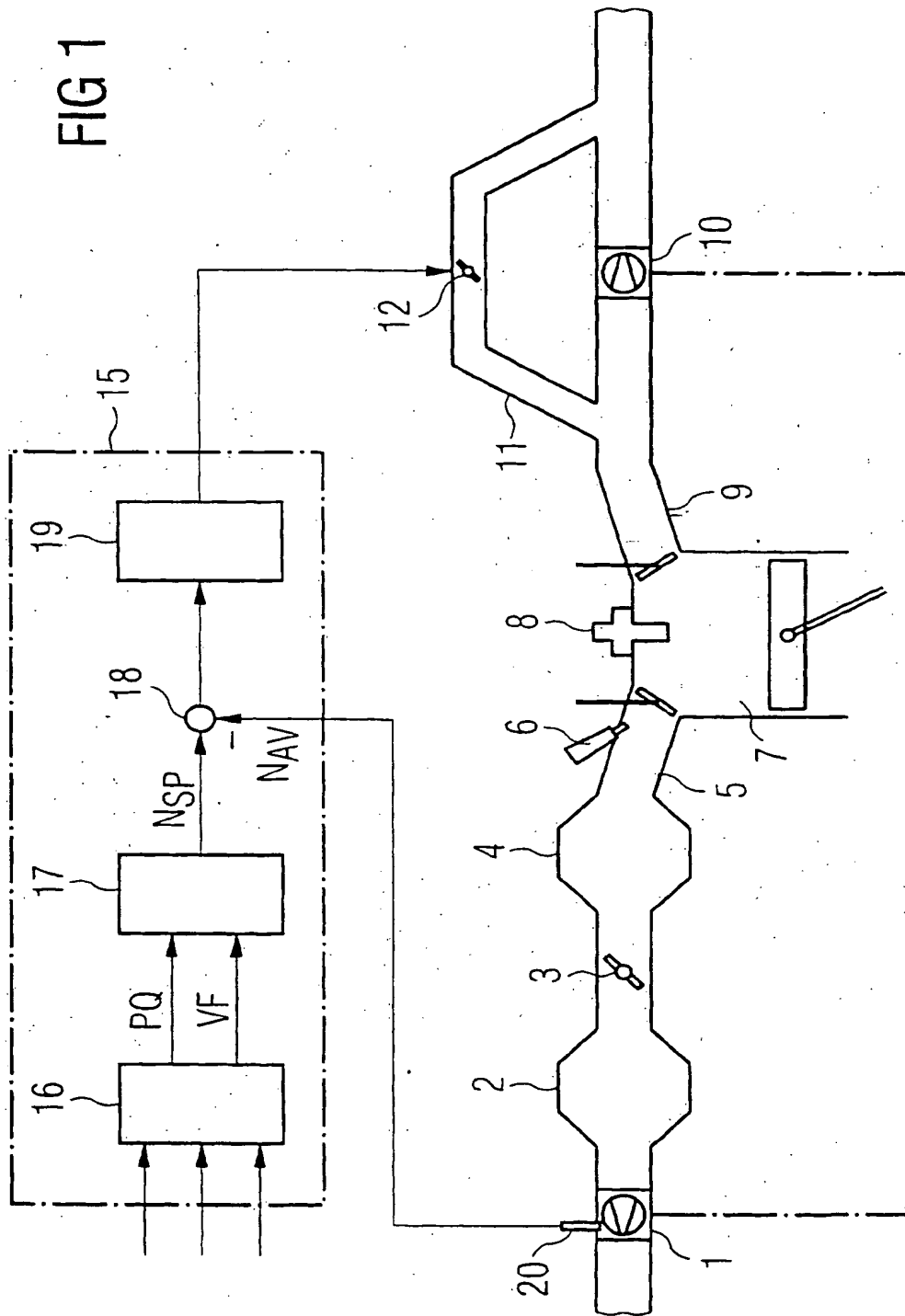


FIG 2

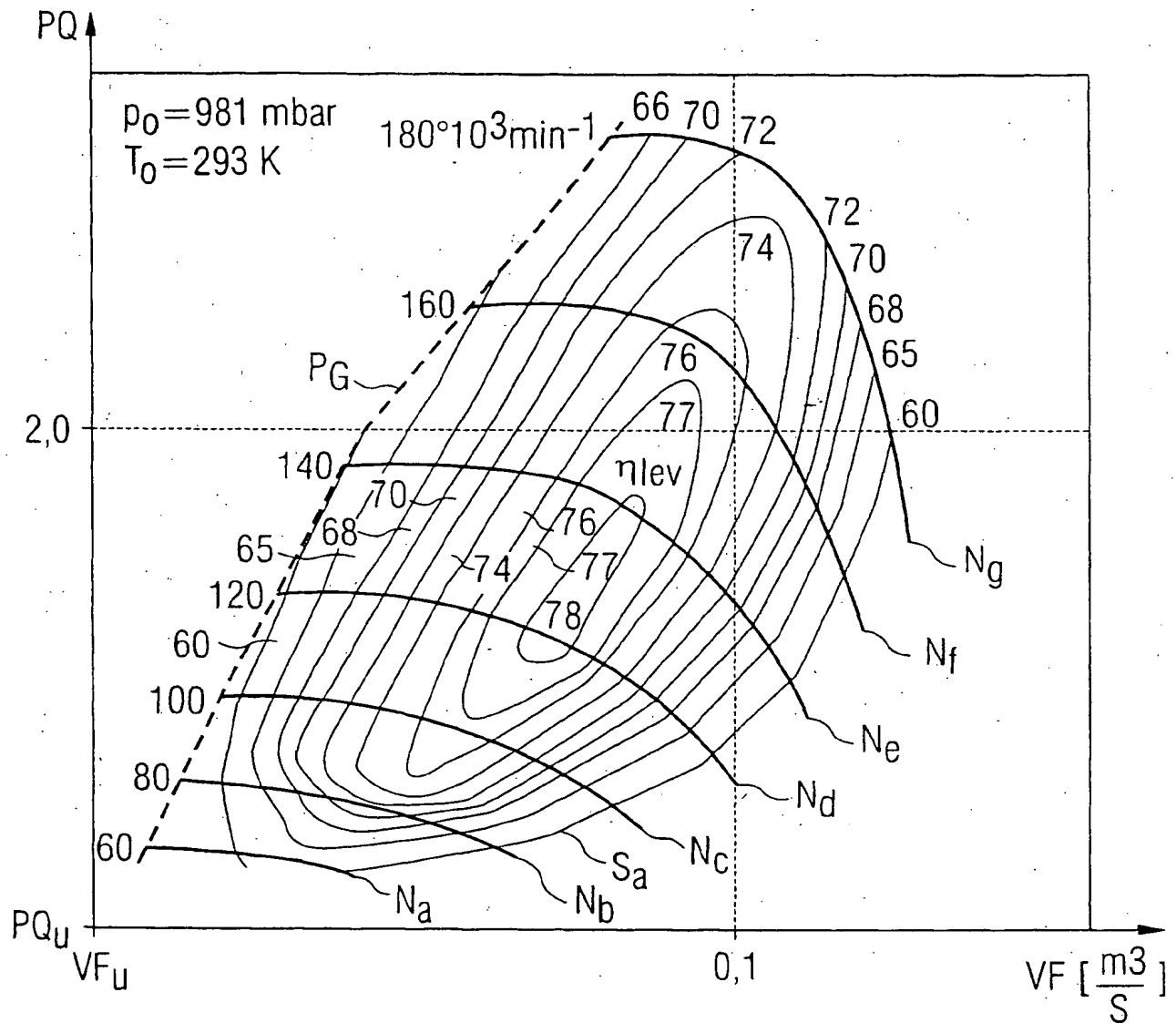


FIG 3

